

Сравнительный анализ альтернативных элементных баз фотоэлектрического датчика углового перемещения рулевых поверхностей самолетов Ан-74 и Ан-140

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Постановка проблемы

В современной отечественной авиационной промышленности постоянно происходит внедрение новых решений. Усовершенствование технологий производства летательных аппаратов влечет за собой неперенное внедрение современных средств послепроизводственного тестирования продукции.

Одной из задач подобного рода является внедрение современной системы слежения за отработкой рулевых поверхностей самолета по задаваемому отклонению штурвала, с возможностью автоматической записи информации и передачи измеряемых отклонений на пульт оператору.

Решение данной проблемы актуально для тестирования отечественных самолетов Ан-74 и Ан-140.

Анализ источников исследования и публикаций

Существует прибор, принцип реализации которого взят за основу предлагаемого датчика. Это фотоэлектрический датчик угловых перемещений, содержащий корпус, размещенные в корпусе и предназначенные для скрепления с объектом вал, установленный на нем фланец с цилиндрической поверхностью, оптически связанные осветитель, световоды и фотоприемный блок [1]. Однако описанное устройство не может применяться для измерения углового перемещения рулевой поверхности, так как по сути измеряет вращение вала. А вал, на котором закреплена перемещающаяся рулевая поверхность, не доступен для присоединения к нему каких-либо устройств.

Для реализации подобного измерителя угловых перемещений без использования вала применяют датчик, функциональная схема которого показана на рис. 1.

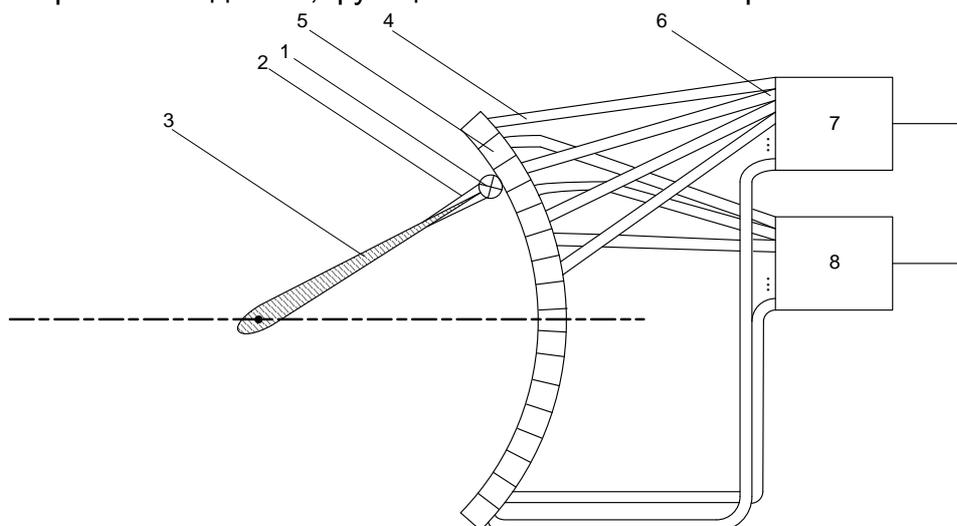


Рис. 1. Принцип действия фотоэлектрического датчика углового перемещения рулевых поверхностей самолета

Этот датчик работает следующим образом. Световой поток от излучателя 1, закрепленного с помощью зажима 2 на рулевой поверхности 3, подается на входные торцы 5 световодов 4. На входных торцах световодов формируется световой поток, подающийся на выходные торцы 6, т.е. на входы фотоприемников 7 и 8, обеспечивающих преобразование оптических сигналов в электрические и формирование из них коротких импульсных сигналов для дальнейшей обработки в цифровых устройствах [2]. Данный датчик далее по тексту будет называться датчиком №1.

Основной материал исследования

Возможно также применение альтернативной схемы подобного фотоэлектрического датчика. Особенность его заключается в том, что для передачи информации могут использоваться не достаточно дорогостоящие и хрупкие оптические световоды, а обычная металлическая среда передачи данных.

Для реализации такого принципа вместо входных концов световодов по дуге, очерчиваемой перемещающейся угловой поверхностью, устанавливают светоприемники, т.е. фотодиоды или фототранзисторы. В качестве источника света применяют светодиод. Таким образом, между излучающим светодиодом и приемником сигнала образуется оптическая пара с открытым каналом. Для реализации пар с открытым каналом наиболее эффективно использовать инфракрасные световые волны. Это позволяет избежать возможности случайного срабатывания фотодиода (фототранзистора) в результате попадания на него солнечного света или искусственного освещения, используемого в ангарах, в которых проходит тестирование самолета. Такой датчик далее по тексту будет именоваться датчиком №2.

Схема датчика №2 показана на рис. 2.

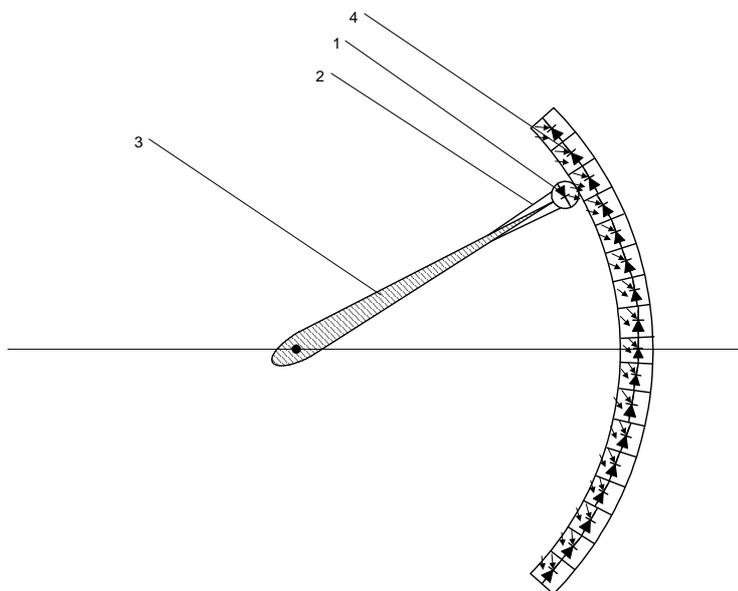


Рис. 2. Фотоэлектрический датчик углового перемещения рулевых поверхностей самолета с использованием оптических пар

В данном случае аналогично с датчиком №1, показанным на рис. 1, источник света 1 крепится с использованием зажима 2 к рулевой поверхности 3. Отличие заключается в том, что источник света 1 представляет собой ИК-диод. Сигнал от этого диода принимает гребенка фотодиодов 4, установленных по аналогии с входными торцами световодов в датчике №1.

В датчике №1 в качестве световодов используют волоконно-оптические жилы. Оконцовывать такие жилы

для дальнейшего крепления можно различными типами коннекторов (SC, DC, LC и др.), но эти разъемы имеют достаточно большие габаритные размеры по сравнению с сечением самого волокна. Минимальный по размерам элемент оконцовки волокна, который можно применить для монтажа, - это керамическая ферула (рис. 3), которой непосредственно обжимается кабель. Диаметр ферулы - 2,5 мм. При этом необходимо учитывать, что обжим волокон проводится только коннектором. Следовательно, чтобы встраивать в датчик ферулу предварительно необходимо обжать волокно коннектором, после чего снять все лишние в данном случае слои, и только после этого устанавливать волокно, оконцованное ферулой в устройство.



Рис. 3. Коннектор (слева), ферула (справа)

для датчиков, устанавливаемых на рулевые поверхности самолетов Ан-74 и Ан-140. Длина дуги датчика зависит от ширины рулевой поверхности, на которую его устанавливают. Данный расчет приведен в таблице.

Расчет количества чувствительных элементов, дискретности датчиков, стоимости оборудования

Для датчика №2 необходимо устанавливать по дуге лишь обычные фотодиоды (фототранзисторы) инфракрасного диапазона. Их установка не требует таких временных затрат, сколько требует оконечивание оптических волокон и устранение «лишних» деталей коннектора.

Разрешающая способность обоих датчиков зависит от габаритных размеров непосредственно чувствительных элементов. В данном случае это – ферулы (датчик №1) и инфракрасные фотодиоды либо фототранзисторы (датчик №2). Важным показателем при изготовлении таких датчиков является также стоимость изделия.

Расчет количества необходимых чувствительных элементов, дискретности измерения и стоимости закупемого оборудования приводит-

Рулевая поверхность	Параметр	Оптоволокно	Фотодиод КДФ 115 (кдф 115а3)	Фотодиод КДФ 115 (кдф 115а1)	Фотодиод КДФ 101 (кдф 101а-м)	Фототранзистор ВРТ-ВР2931	Фототранзистор ВРТ-ВР2331	Фотодиод ВІR-ВМ13J4G	Фотодиод ВІR-ВМ1331
Руль высоты Ан-74	Ширина рулевой поверхности, мм	780	780	780	780	780	780	780	780
	Дуга, град.	60	60	60	60	60	60	60	60
	Длина дуги, мм	816,814	816,814	816,814	816,814	816,814	816,814	816,814	816,814
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	326	163	240	233	233	204	116	204
	Дискретность, мин.	11	22	15	15	15	18	31	18
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	3912	260,8	384	116,5	116,5	153	116	102
Руль высоты Ан-140	Ширина рулевой поверхности, мм	450	450	450	450	450	450	450	450
	Дуга, град.	60	60	60	60	60	60	60	60
	Длина дуги, мм	471,239	471,239	471,239	471,239	471,239	471,239	471,239	471,239
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	188	94	138	134	134	117	67	117
	Дискретность, мин.	19	38	26	27	27	31	54	31
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	2256	150,4	220,8	67	67	87,75	67	58,5
Элерон Ан-74	Ширина рулевой поверхности, мм	435	435	435	435	435	435	435	435
	Дуга, град.	50	50	50	50	50	50	50	50
	Длина дуги, мм	379,609	379,609	379,609	379,609	379,609	379,609	379,609	379,609
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	151	75	111	108	108	94	54	94
	Дискретность, мин.	20	40	27	28	28	32	56	32
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	1812	120	177,6	54	54	70,5	54	47
рон Ан-	Ширина рулевой поверхности, мм	380	380	380	380	380	380	380	380

Рулевая поверхность	Параметр	Оптоволокно	Фотодиод КДФ 115 (кдф 115а3)	Фотодиод КДФ 115 (кдф 115а1)	Фотодиод КДФ 101 (кдф 101а-м)	Фототранзистор ВРТ-ВР2931	Фототранзистор ВРТ-ВР2331	Фотодиод ВІR-ВМ13J4G	Фотодиод ВІR-ВМ1331
			50	50	50	50	50	50	50
Руль	Дуга, град.	331,613	331,613	331,613	331,613	331,613	331,613	331,613	331,613
	Длина дуги, мм								
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	132	66	97	94	94	82	47	82
	Дискретность, мин.	23	45	31	32	32	37	64	37
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	1584	105,6	155,2	47	47	61,5	47	41
Руль направления АН-74	Ширина рулевой поверхности, мм	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
	Дуга, град.	60	60	60	60	60	60	60	60
	Длина дуги, мм	1204,28	1204,28	1204,28	1204,28	1204,28	1204,28	1204,28	1204,28
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	481	240	354	344	344	301	172	301
	Дискретность, мин.	7	15	10	10	10	12	21	12
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	5772	384	566,4	172	172	225,75	172	150,5
Руль направления АН-140	Ширина рулевой поверхности, мм	554	554	554	554	554	554	554	554
	Дуга, град.	60	60	60	60	60	60	60	60
	Длина дуги, мм	580,147	580,147	580,147	580,147	580,147	580,147	580,147	580,147
	Габаритные размеры элемента, мм	2,5	5	3,4	3,5	3,5	4	7	4
	Количество элементов	232	116	170	165	165	145	82	145
	Дискретность, мин.	16	31	21	22	22	25	44	25
	Стоимость элемента, грн.	12	1,6	1,6	0,5	0,5	0,75	1	0,5
	Итоговая стоимость элементов, грн.	2784	185,6	272	82,5	82,5	108,75	82	72,5

Наглядно стоимости реализации датчиков на различной элементной базе показаны на рис. 4.

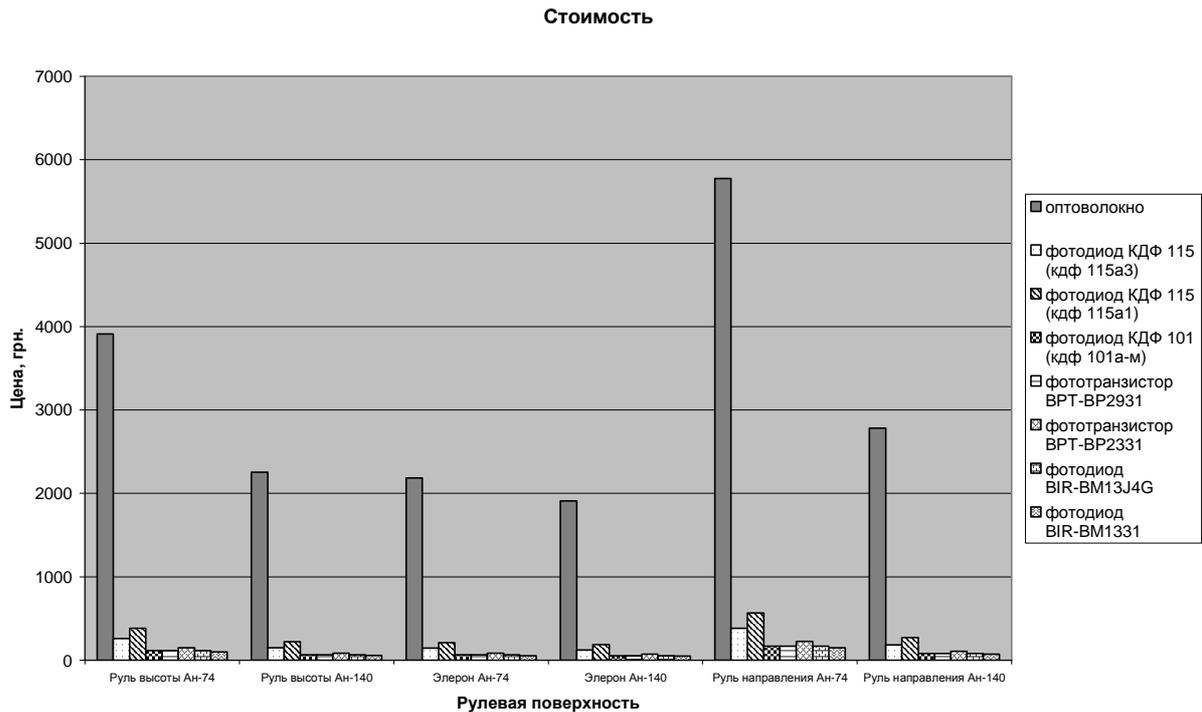


Рис.4. Стоимости реализации датчиков №1 и №2 на различной элементной базе

Как видно из рис. 4, стоимость реализации датчика №1 значительно превосходит альтернативные варианты. Гистограмма стоимостей реализации датчика №2 на различной элементной базе показана на рис. 5.

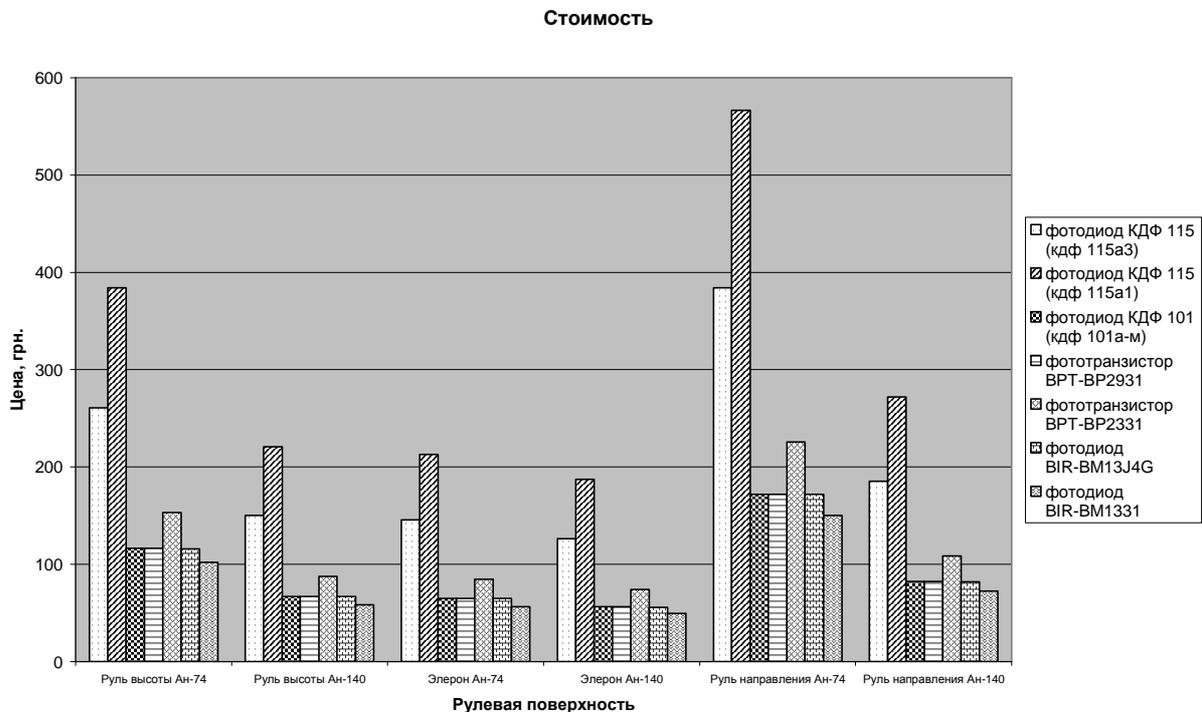


Рис. 5. Стоимости реализации датчика №2 на различной элементной базе

Для оценки эффективности конструктивного решения гистограмму, изображенную на рис. 5, необходимо сравнить с гистограммой дискретностей измерения датчиков (рис. 6).

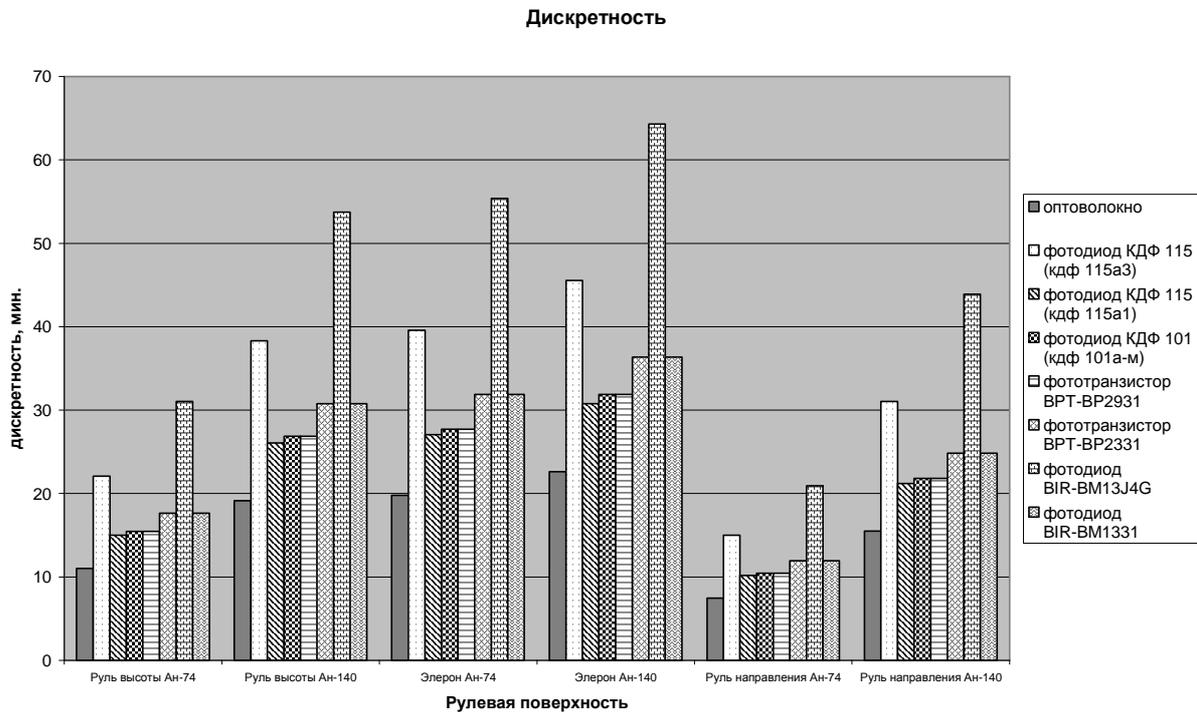


Рис.6. Дискретности датчиков, реализованных на различной элементной базе

Выводы

Наглядно показано, что выигрыш в дискретности при использовании волоконно-оптической техники не настолько велик, что может сгладить цену, в несколько раз превышающую цену изделия, реализованного на фотодиодах (фототранзисторах). Кроме того, из приведенных видов фотодиодов и фототранзисторов наилучшее соотношение между ценой и дискретностью имеет реализация устройства на основе фотодиода КДФ 101. Помимо применения такого фотодиода, достаточно эффективно можно использовать фототранзисторы ВРТ-ВР2931 и ВРТ-ВР2331, имеющие соизмеримые с КДФ 101 показатели.

Список литературы

1. А.с. СССР №1490469, М. кл G 01 В 11/26. Фотоэлектрический датчик угловых перемещений / Н.И. Гиниятуллин, З.М. Хасанов, Р.Л. Сафиуллин, С.В. Шевченко. - №4276011/25-28; Заявл. 15.05.87; Оpubл. 30.06.89, Бюл. № 24. – 3с.
2. Пат. № 27040 України, МПК (2006) G01В 11/26. Фотоэлектричний датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / А.С. Оганесян, М.Д. Кошовий (Україна). - № u200706934; Заявл. 20.06.2007; Оpubл. 10.10.2007, Бюл. № 16. – 4 с.